

УДК 620.179

А.Ю. Якимчук, студентка гр. ПК-61
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ

Анотація. Виконано огляд існуючих методів та засобів вимірювання швидкості ультразвукової хвилі в різних середовищах. Наведені їх переваги та недоліки.

Ключові слова: ультразвук, хвиля, швидкість, штангенциркуль, інтерферометр.

ВСТУП

Ультразвук знайшов широке застосування в багатьох галузях сучасного світу. Від лікування захворювань очей до діагностики внутрішніх органів в медицині, від різки металу до ультразвукового зварювання в промисловості. Виявлення дефектів у матеріалах також може здійснюватись за допомогою ультразвукового контролю.

Важливою задачею є визначення фізико-механічних властивостей різноманітних матеріалів. Ця задача може бути вирішена шляхом вимірювання швидкості поширення ультразвуку.

Сьогодні існує декілька можливих способів вимірювання швидкості ультразвуку в об'єкті контролю. Серед них імпульсний метод із використанням роздільного або суміщеного перетворювача, ультразвуковий інтерферометр, акустичний штангенциркуль.

ЛУНО-ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД

Поширеним методом вимірювання швидкості ультразвуку є луно-імпульсний метод. В його основі лежить багаторазове надсилання, з частотою затримки 30-60 Гц, коротких ультразвукових імпульсів в монолітний об'єкт контролю. Реєстрація часу поширення цих імпульсів на певному проміжку (база прозвучування) дає нам змогу визначити швидкість ультразвуку в досліджуваному матеріалі:

$$C = \frac{2L}{t}$$

де **L** – база прозвучування (цю величину можна виміряти будь яким пристроєм з точністю до 0.1 мм), **t** – час поширення імпульсу.

Початок вимірювання співпадає з моментом випромінювання імпульсу, кінець – з моментом реєстрації хвилі. Луно-імпульсний метод підтримують усі сучасні дефектоскопи (рис. 1). Він є простим, але містить значну суб'єктивну похибку, яка виникає під час вимірювання геометричного розміру бази прозвучування.

Ультразвукові дефектоскопи працюють наступним чином. Генератор видає короткі електричні імпульси з частотою 30-50 Гц та амплітудою 100-200 В. Ці імпульси об'єднуються в пучок (5-10 імпульсів) механічних коливань і вводяться в досліджуваний матеріал. В цей момент починається вимірювання часової затримки. Ультразвукова хвиля після подвійного проходження шляху **L**, при цьому витративши на це час **t**, повертається назад до випромінювача. У цей момент завершується вимірювання часової затримки.

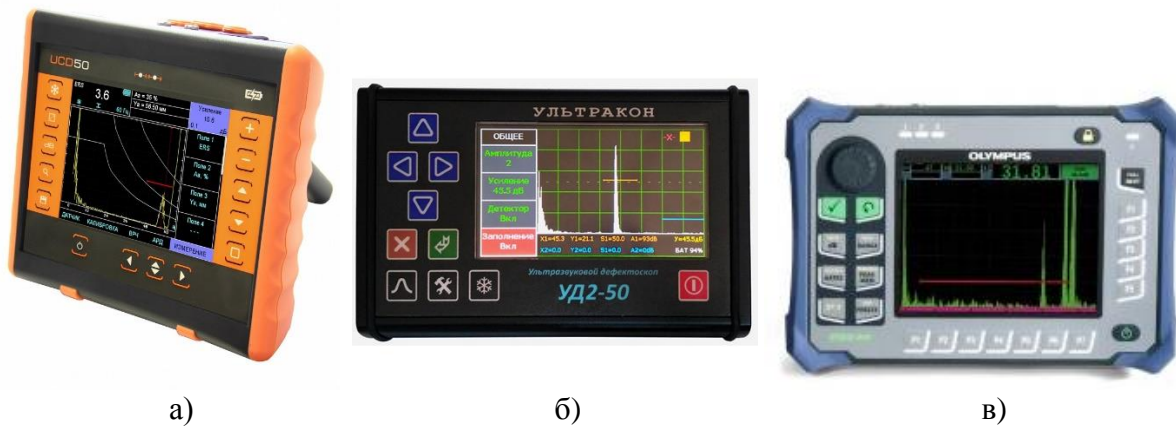


Рис. 1. Ультразвукові дефектоскопи: а) УСД-50 IPS, б) УД2-50, в) EPOCH 650

Переваги луно-імпульсного методу ґрунтуються на його фізичній реалізації та легкому принципу роботи.

До недоліків слід віднести необхідність двостороннього доступу до об'єкту контролю, що значно знижує кількість можливих галузей застосування, габаритність обладнання.

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ІНТЕРФОМЕТР ПІРСА

Метод ультразвукової інтерферометрії вважається одним з найбільш точних методів вимірювання швидкості ультразвуку в рідинах.

Схематично ультразвуковий інтерферометр зображено на рис. 2. В його складі, для створення механічних коливань в п'єзoeлектричній пластині, використовують генератор електричних коливань Г.

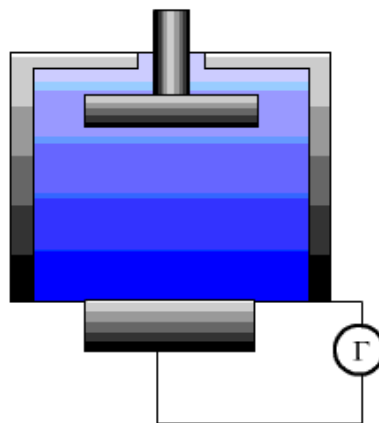


Рис. 2. Ультразвуковий інтерферометр Пірса

При проведенні дослідження швидкості ультразвуку необхідно, щоб випромінюючий перетворювач одночасно був і приймачем ультразвукових хвиль. Тоді, внаслідок переміщення відбивача (в вигляді товстої металічної пластини) вздовж напрямку ультразвуку, в камері, що заповнена досліджуваною рідиною або газом, буде виникати нерухома хвиля.

Реєстрацію нерухомої хвилі проводять по максимумам або мінімумам кривих реакції поля ультразвукової хвилі на систему генератор-перетворювач, яка й описує залежність напруги від відстані між перетворювачем та відбивачем.

Фіксація відстані між мінімумами (вузли) або максимумами (пучності) нерухомої хвилі дає нам змогу визначити довжину хвилі λ , оскільки між сусідніми вузлами або точками пучності вона визначається як $\lambda/2$. Оскільки швидкість звуку прямо пропорційна добутку довжини хвилі на частоту, то, при відомій частоті f , можемо визначити швидкість поширення ультразвукової хвилі в рідині.

До переваг методу можна віднести його точність, а до недоліків — складність реалізації та можливість використання для вимірювання швидкості ультразвуку тільки в рідинах.

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ

Вимірювання ультразвуковим штангенциркулем передбачає визначення швидкості ультразвуку в матеріалі при відомій товщині монолітного еталонного об'єкту. Узагальнену схему ультразвукового штангенциркуля зображено на рис. 3.

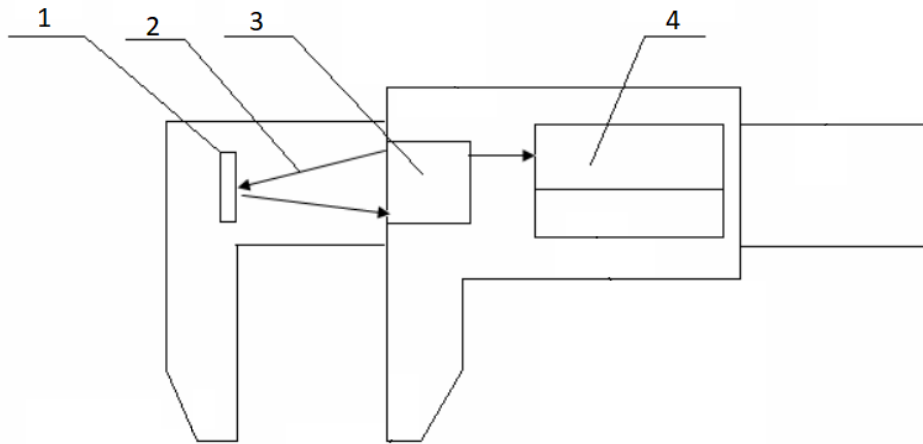


Рис. 3. Узагальнена схема ультразвукового штангенциркуля

Ультразвуковий штангенциркуль дозволяє одночасно вимірювати геометричний розмір бази прозвучування та часу проходження ультразвуку в об'єкті контролю вздовж цієї бази. Для цього використовуються два акустичні тракти: еталонний та об'єктний. Еталонний тракт створюється в твердому тілі (еталонному об'єкті) з точно відомими акустичними характеристиками, і має змінні геометричні розміри. Система забезпечує рівність геометричного розміру еталонного тракту з геометричним розміром об'єктного тракту з точністю до константи, а також забезпечується рівність акустичних осей цих трактів. В еталонному тракті використовуються поверхневі хвилі (2), які вводяться за допомогою п'єзоперетворювача (3). Хвиля повертається до п'єзоперетворювача після того, як відбивається від насічки (1). Об'єктний тракт (в якому використовуються поздовжні хвилі) створюється в об'єкті контролю в радіальному напрямку. Невідому швидкість проходження ультразвуку визначають за формулою (при використанні луна-методу в еталонному тракті та методу проходження в об'єктному тракті):

$$C_x = \frac{C_{em} \cdot t_{em}}{2 \cdot t_x} + \frac{h_0}{t_x}$$

де C_{et} – відома швидкість ультразвуку в еталонному об'єкті, t_{et} – вимірний час затримки в еталонному об'єкті, t_x – вимірний час затримки в об'єкті контролю, h_0 – систематична помилка.

Результат вимірювань відображається на дисплеї (4).

Перевагами цього методу вимірювання є відсутність суб'єктивного фактору, можливість визначення точної швидкості хвилі з першого разу без додаткового калібрування.

До недоліків слід віднести потребу у двосторонньому доступі саме до об'єкту контролю та той факт, що цей метод фізично не реалізований.

ВИСНОВКИ

У роботі наведено три основні ідеї для вимірювання швидкості ультразвуку. В залежності від досліджуваного середовища є рекомендації вимірювати цей параметр в різні способи. Наприклад, якщо нас цікавить швидкість звуку в рідині, то більш доречним буде використання ультразвукового інтерферометра.

Що стосується твердих матеріалів, тут більш ефективним буде використання ультразвукового штангенциркуля, адже він забезпечує вимірювання без суб'єктивної похибки та не потребує додаткових калібрувань. З огляду на це, є пряма необхідність фізично реалізувати цей метод.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

- [1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [2] Галаган Р. М. Ультразвуковий штангенциркуль / Р.М. Галаган, М.В. Кащич // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2008. – Вип. №20. – С.18-20.
- [3] Єременко В.С. Шляхи мінімізації сумарної похибки вимірювання швидкості ультразвуку в матеріалах з неоднорідною структурою / В.С. Єременко, Р.М. Галаган // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. – Одеса. – 2012. – № 06 (82). – С. 39-45.
- [4] Ультразвуковой интерферометр Пирса [Електронний ресурс] – Режим доступу:
- [5] <http://www.heuristic.su/effects/catalog/tech/byId/description/1314/index.html>
- [6] Измерение скорости распространения ультразвука и ультразвуковая аппаратура [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studopedia.su/6_886_izmerenie-skorosti-rasprostraneniya-ultrazvuka-i-ultrazvukovaya-apparatura.html

Науковий керівник: к.т.н., доцент, Галаган Р.М.